

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
8. Januar 2004 (08.01.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/002884 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: C01B 13/02,
31/20, B01D 53/22

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/005739

(22) Internationales Anmeldedatum:
2. Juni 2003 (02.06.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 29 232.9 28. Juni 2002 (28.06.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Aus-
nahme von US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT
ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN
FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54,
80636 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BACKHAUS,
Clemens [DE/DE]; Schulstrasse 11, 46529 Alpen (DE).
WERNEKE, Hubert [DE/DE]; Möhneweg 47a, 44287
Dortmund (DE).

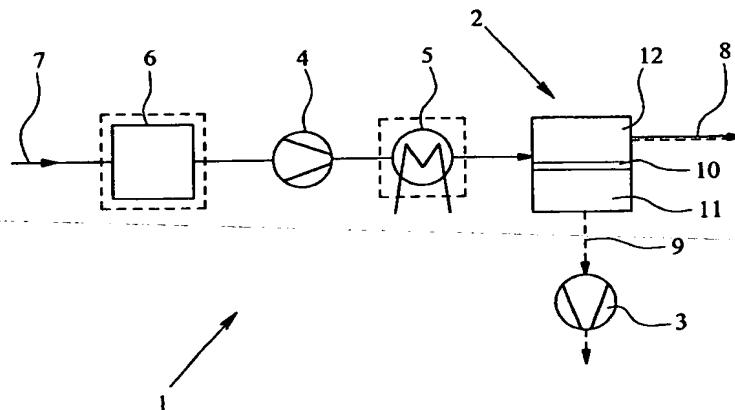
(74) Anwalt: GESTHUYSEN, VON ROHR & EGGERT;
Huyssenallee 100, 45128 Essen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,
MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO,
RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR SEPARATING A MEMBRANE AND DEVICE FOR SEPARATING A MEMBRANE FOR ENRICH-
ING AT LEAST ONE GAS COMPONENT IN A GAS FLOW

(54) Bezeichnung: MEMBRANTRENNVERFAHREN SOWIE MEMBRANTRENNVORRICHTUNG ZUR ANREICHERUNG
WENIGSTENS EINER GASKOMPONENTE IN EINEM GASSTROM



(57) Abstract: The invention relates to a method for separating a membrane for enriching at least one gas component in a gas flow, especially for enriching the air (7) with oxygen and/or for enriching a gas flow with carbon dioxide. The gas flow for enriching the gas component is guided to at least one membrane separating unit (10) of a membrane separating device (2), comprising at least one membrane. The separation of the gas flow on the membrane occurs in a retentate (8) which is evacuated on one side of the retentate (12) of the membrane and in a permeate (9) which is evacuated on one side of the permeate (11) of the membrane. The aim of the invention is to enable gas separation or enrichment of a gas component in a gas flow with low energy expenditure and low investment and operational costs. The gas flow is compressed before it enters the membrane separating device (2) so that it has an input pressure greater than the ambient pressure and the pressure level on the permeate side (11) is reduced in relation to the input pressure of the gas flow.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Membrantrennverfahren zur Anreicherung wenigstens einer Gaskomponente in einem Gasstrom, insbesondere zur Sauerstoffanreicherung von Luft (7) und/oder zur Kohlendioxidanreicherung in einem Gasstrom, wobei der Gasstrom zur Anreicherung der Gaskomponente wenigstens einer wenigstens eine Membran aufweisenden Membrantrenneinheit (10) einer Membrantrenneinrichtung (2) zugeführt wird und wobei an der Membran die Auftrennung des Gasstroms in ein auf einer Retentatseite (12) der Membran abgeführtes Retentat (8) und in ein auf einer Permeatseite (11) der Membran abgeführtes Permeat (9) erfolgt. Um die Gastrennung bzw. die Anreicherung einer Gaskomponente in einem Gasstrom bei geringem Energieaufwand und niedrigen Investitions- und Betriebskosten zu ermöglichen, ist vorgesehen, daß der Gasstrom vor Eintritt in die Membrantrenneinrichtung (2) auf einen Eingangsdruck oberhalb des Umgebungsdruckes verdichtet wird und daß das Druckniveau auf der Permeatseite (11) gegenüber dem Eingangsdruck des Gasstroms abgesenkt wird.

MEMBRANTRENNVERFAHREN SOWIE MEMBRANTRENNVORRICHTUNG ZUR ANREICHERUNG WENIGSTENS EINER GASKOMPONENTE IN EINEM GASSTROM

Die Erfindung betrifft ein Membrantrennverfahren zur Anreicherung wenig-
stens einer Gaskomponente in einem Gasstrom, insbesondere zur Sauerstoff-
anreicherung von Luft und/oder zur Anreicherung von Kohlendioxid in einem
Gasstrom, wobei der Gasstrom zur Anreicherung der Gaskomponente wenig-
stens einer wenigstens eine Membran aufweisenden Membrantrenneinheit ei-
ner Membrantrenneinrichtung zugeführt wird und wobei an der Membran die
Auftrennung des Gasstroms in ein auf einer Retentatseite der Membran abge-
führtes Retentat und in ein auf einer Permeatseite der Membran abgeführtes
Permeat erfolgt. Darüber hinaus betrifft die vorliegende Erfindung eine Mem-
brantrennvorrichtung zur Anreicherung wenigstens einer Gaskomponente in
einem Gasstrom, insbesondere zur Sauerstoffanreicherung von Luft, mit we-
nigstens einer wenigstens eine Membran aufweisenden Membrantrenneinheit
einer Membrantrenneinrichtung, wobei der Gasstrom zur Anreicherung der
Gaskomponente der Membrantrenneinrichtung zugeführt wird und an der
Membran die Auftrennung des Gasstroms in ein auf einer Retentatseite der
Membran abgeführtes Retentat und in ein auf einer Permeatseite der Membran
abgeführtes Permeat erfolgt.

Sauerstoff und Stickstoff werden heutzutage überwiegend mit dem vor 100
Jahren von Linde und Claude (Air Liquide) entwickelten kryogenen Gas-
trennverfahren hergestellt, bei dem Luft auf unter -180°C abgekühlt und de-
stilliert bzw. rektifiziert wird. Aufgrund der extrem niedrigen Temperaturen
sind hohe Energiekosten unvermeidlich. Die großen industriellen Gastrennan-
lagen für technische Gase sind aufgrund ihrer komplexen Gestaltung und
Konstruktion extrem kosten- und energieintensiv. Sie dienen zur Herstellung
von Reingasen in hohen Volumenströmen.

Weitere Möglichkeiten zur Gewinnung von Sauerstoff und sauerstoffangerei-
chter Luft bieten Verfahren zur adsorptiven Zerlegung der Luft in Stickstoff
und Sauerstoff mit Molekularsieben, Zeolithen oder Aktivkohlen. Nach der
Molekülgröße sowie der Adsorptions- und Diffusionswechselwirkungen fin-
det dort eine Trennung statt. Nachteile der vorgenannten Verfahren sind der

hohe energetische Aufwand und die aufwendigen apparativen Einheiten. Die Anlagen werden vorwiegend im industriellen Maßstab gebaut, mit der Vorgabe, hohe Durchsatzraten vor allem von Reingasen zu erzeugen. Die Investitions-, Wartungs- und Instandhaltungskosten sind aufgrund der komplexen Einheiten entsprechend hoch.

Im Vergleich zu den klassischen Trennverfahren zeichnet sich die Gastrennung mit Membranen durch geringen verfahrenstechnischen Aufwand aus. Man unterscheidet bei der Gastrennung mittels Membranen aufgrund des vorliegenden Aggregatzustandes in "flüssig" oder "gasförmig", und der zu trennenden Medien oder Komponenten zwischen den Gas-Membrankontaktoren, der Membranpervaporation und der Gaspermeation. Verfahren mit Gas-Membrankontaktoren sind dadurch charakterisiert, daß auf der Permeatseite eine flüssige Phase vorliegt, in der das Permeat absorbiert wird und ggf. chemisch reagiert. Die Gaspervaporation ist ein Verfahren zur Trennung wäßriger organischer oder rein organischer flüssiger Gemische, bei dem permeierende Komponenten vom flüssigen in den dampfförmigen Zustand übergehen. Die Gaspermeation zeichnet sich dagegen dadurch aus, daß sowohl der Eingangsgasstrom bzw. der Retentatstrom als auch der Permeatstrom gasförmig vorliegen.

Vorteil der Gastrennung mittels Membranen ist die energiearme Erzeugung von Gasen in der gewünschten Qualität. Die Kosten für die Bereitstellung sowie die Wartungs- und Instandhaltungsaufwendungen fallen gegenüber den klassischen Trennverfahren deutlich geringer aus. Weiterhin ist der Aufwand zur Steuerung und Regelung von Membrantrennverfahren gering. Die Anlagen sind oft modular aufgebaut und ermöglichen eine genaue Anpassung und Regelung von geforderten Volumenströmen. Weitere Vorteile bestehen in der Wirtschaftlichkeit der Anlagentechnik und in der spezifischen Lebensdauer einzelner Komponenten. Von Nachteil bei den bekannten Membrantrennverfahren ist, daß das Gas auf hohem Druckniveau der Membrantrenneinrichtung zugeführt werden muß, um den Durchtritt der abzutrennenden bzw. anzureichernden Komponente in den Permeatstrom zu bewirken. Die Verdichtung des Eingangsgasstroms vor Eintritt in die Membrantrenneinrichtung ist mit hohem Energieaufwand verbunden und daher kostenintensiv.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Membrantrennverfahren und eine Trennvorrichtung der eingangs genannten Art zur Verfügung zu stellen, wobei die Gastrennung bzw. die Anreicherung einer Gaskomponente in einem Gasstrom bei geringem Energieaufwand und niedrigen Investitions- und Betriebskosten möglich ist.

Die zuvor angegebene und hergeleitete Aufgabe ist bei einem Membrantrennverfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß der Gasstrom vor Eintritt in die Membrantrenneinrichtung auf einen Eingangsdruck oberhalb des Umgebungsdruckes verdichtet wird und daß das Druckniveau auf der Permeatseite gegenüber dem Eingangsdruck des Gasstroms abgesenkt wird. Zur Lösung des vorgenannten Problems ist bei einer alternativen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Membrantrennverfahrens vorgesehen, daß der Gasstrom der Membrantrenneinrichtung auf Umgebungsdruck zugeführt wird, daß der Ausgangsdruck des Retentats aus der Membrantrenneinrichtung unterhalb des Umgebungsdruckes abgesenkt wird und daß das Druckniveau auf der Permeatseite gegenüber dem Ausgangsdruck des Retentatstroms abgesenkt wird. Die zuvor angegebene Aufgabe ist konstruktiv erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß wenigstens eine Absaugeinrichtung zur Absenkung des Druckniveaus auf der Permeatseite der Membran vorgesehen ist, insbesondere zur Absenkung unterhalb von 1 bar.

Der Erfindung liegt der Grundgedanke zugrunde, das Druckniveau auf der Permeatseite der Membran über den beim Durchtritt der abzutrennenden Komponente durch die Membran auftretenden Druckverlust hinaus gegenüber dem Eingangsdruckniveau des anzureichernden Gasstroms bzw. in Bezug zum Ausgangsdruck des Retentatstroms abzusenken. Die Triebkraft, die für den Durchtritt der anzureichernden Gaskomponente durch die Membran in den Permeatstrom erforderlich ist, wird durch die Druckdifferenz zwischen dem Eingangsgasstrom und dem Permeatstrom bzw. durch die Druckdifferenz zwischen dem Retentatstrom und dem Permeatstrom festgelegt. Bei den aus dem Stand der Technik bekannten Membrantrennverfahren wird der Eingangsgasstrom auf ein hohes Druckniveau – üblicherweise 8 bis 20 bar – verdichtet, so daß eine ausreichend hohe Triebkraft sichergestellt wird. Erfindungsgemäß wird von diesem Stand der Technik abgewichen, wobei die Triebkraft zum Durchtritt der anzureichernden Gaskomponente durch die

Membran in den Permeatstrom nicht durch Verdichtung in den Eingangsgasstroms sondern durch Absenkung des Druckniveaus auf der Permeatseite erzeugt wird. Da der Energieaufwand zur Verdichtung eines Gasstroms bzw. der Energieaufwand zur Druckabsenkung in erster Näherung dem Gasvolumenstrom proportional ist, kann durch das erfindungsgemäße Verfahren der Energieaufwand zur Anreicherung einer Gaskomponente in einem Gasstrom gegenüber den bekannten Membrantrennverfahren deutlich gesenkt werden. Erfindungsgemäß ist es nämlich nicht mehr notwendig, den gesamten Eingangsgasstrom zu verdichten, sondern lediglich das Druckniveau des im Verhältnis zum Eingangsgasstrom zum Teil erheblich geringeren Permeatstroms abzusenken. Durch das erfindungsgemäße Membrantrennverfahren ist es erst möglich, neue Einsatzbereiche und Anwendungen zu erschließen und Membrantrennverfahren für bestimmte Bereiche wirtschaftlich einzusetzen.

Erfindungsgemäß sind grundsätzlich zwei alternative Ausführungsformen einer Membrantrennvorrichtung der eingangs genannten Art möglich. Der Gasstrom kann zum einen vor Eintritt in die Membrantrenneinrichtung auf einen Eingangsdruck oberhalb des Umgebungsdruckes verdichtet werden. In diesem Fall muß das Druckniveau auf der Permeatseite gegenüber dem Eingangsdruck des Gasstroms soweit abgesenkt werden, daß ein Durchtritt der anzureichernden Gaskomponente durch die Membran in den Permeatstrom sichergestellt ist. Zum anderen kann das Druckniveau auf der Retentatseite gesenkt werden, wobei der Gasstrom der Membrantrenneinrichtung auf Umgebungsdruck zugeführt wird. In diesem Fall ist es notwendig, daß das Druckniveau auf der Permeatseite gegenüber dem Ausgangsdruck des Retentatstroms soweit abgesenkt wird, daß ein Durchtritt der anzureichernden Komponente durch die Membran in den Permeatstrom erfolgen kann.

Wesentlich ist nun, daß die Verdichtung des Gasstroms vor Eintritt in die Membrantrenneinrichtung bzw. die Absenkung des Ausgangsdrucks des Retentatstroms aus der Membrantrenneinrichtung gerade in der Höhe erfolgt, daß der beim Durchtritt des Gasstroms retentatseitig in der Membrantrenneinrichtung auftretende Druckverlust kompensiert wird. Je geringer der Gasstrom verdichtet bzw. je weniger stark der Ausgangsdruck des Retentatstroms unterhalb des Umgebungsdrucks abgesenkt werden muß, desto geringer ist der

Energiebedarf des Membrantrennverfahrens. Gleichzeitig sinken die Investitions- und Betriebskosten des Verfahrens.

5 Weiterhin ist von Bedeutung, daß das Druckniveau auf der Permeatseite so stark gesenkt werden muß, daß die resultierende Triebkraft ausreicht, um eine Anreicherung der Gaskomponente in dem Permeatstrom zu bewirken. Selbstverständlich ist es erfindungsgemäß auch vorstellbar, daß zusätzlich zur Absenkung des Druckniveaus auf der Permeatseite das Druckniveau des eintretenden Gasstroms erhöht wird und somit die Triebkraft weiter vergrößert
10 wird.

Wenngleich das erfindungsgemäße Verfahren insbesondere zur Sauerstoffanreicherung von Luft eingesetzt werden kann, ist es selbstverständlich auch möglich, andere Gaskomponenten in dem Gasstrom anzureichern. Beispielsweise kann das erfindungsgemäße Verfahren zur Stickstoffanreicherung von
15 Luft eingesetzt werden, wobei der Sauerstoff aus der Luft durch die Membran in den Permeatstrom übergeht und somit eine Anreicherung des Retentatstroms mit Stickstoff erfolgt. Darüber hinaus kann das erfindungsgemäße Verfahren zur Abtrennung von Kohlendioxid sowie zur Auftrennung und/oder zur
20 Anreicherung von Verbrennungsgasen eingesetzt werden. Schließlich ist es auch denkbar, daß das erfindungsgemäße Verfahren nicht nur zur Anreicherung von Gaskomponenten in einem Gasstrom sondern auch zur Anreicherung von Komponenten in beliebigen fluiden Medien eingesetzt wird.

25 Die Anreicherung einer gasförmigen Komponente in einem Gasstrom beruht auf dem Mechanismus der Gaspermeation, bei der sowohl der eintretende Gasstrom bzw. der Retentatstrom als auch der Permeatstrom gasförmig vorliegen. Der Vorgang der Gaspermeation ist an sich bekannt und kann durch eine Lösungs-Diffusions-Mechanismus beschrieben werden. Es findet in der
30 Membrantrenneinrichtung an der Membranoberfläche eine Sorption der permeierenden Komponente des Gasstroms, beispielsweise des Sauerstoffs der Luft, statt. Es folgt die Diffusion durch die Membrantrennschicht und anschließend die Desorption auf der Permeatseite der Membran.

35 Ein Hauptanwendungsgebiet des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Sauerstoffanreicherung von Luft. Sauerstoffangereicherte Luft kann in vielfälti-

gen Anwendungen eingesetzt werden. Aufgrund des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es möglich, ein wenig energieintensives und damit wirtschaftliches Verfahren zur Sauerstoffanreicherung von Luft zur Verfügung zu stellen. Eine Absenkung des Druckniveaus auf der Permeatseite bewirkt eine Verbesserung des Trennprozesses. Der Sauerstoffgehalt im Permeat erhöht sich aufgrund der Vergrößerung der transmembranen Druckdifferenz. Gleichzeitig steigt der Volumenstrom des Permeats. Diese beiden Effekte führen zu einer Verbesserung der Trennleistung. Das Verfahren ermöglicht darüber hinaus eine einfache Regelung des Volumenstroms des Permeats und zeichnet sich durch eine einfache und wirtschaftliche Betriebsweise aus.

Basierend auf dem Mechanismus der Gaspermeation findet eine Trennung des Eingangsgasstroms (Feedstrom) in einen sauerstoffangereicherten Permeatstrom und einen sauerstoffabgereicherten Retentatstrom statt. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es möglich, den Permeatstrom auf eine Sauerstoffkonzentration von 22 bis 45 Vol.-% aufzukonzentrieren, wobei vorzugsweise der Permeatstrom ca. 30 Vol.-% Sauerstoff aufweist. Während bei der Sauerstoffanreicherung von Luft vorgesehen ist, daß der Sauerstoff durch die Membran in den Permeatstrom übergeht, ist es grundsätzlich natürlich auch möglich, daß die anzureichernde Gaskomponente im Retentatstrom vorliegt. In diesem Fall ist es so, daß der Großteil bzw. eine Mehrzahl von Komponenten durch die Membran in den Permeatstrom übergeht, während die anzureichernde Komponente nicht durch die Membran hindurchtritt und dadurch im Retentatstrom angereichert wird.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren ist es in einfacher Weise möglich, den Volumenstrom des Permeatstroms und/oder die Konzentration der anzureichernden Gaskomponente im Permeatstrom durch die Absenkung des Druckniveaus auf der Permeatseite zu regeln. Dadurch wird eine besonders vorteilhafte Möglichkeit zur Verfügung gestellt, den Volumenstrom des Permeatstroms bzw. die Konzentration der angereicherten Gaskomponente exakt und reproduzierbar bei geringem Energieaufwand auf die besonderen Bedürfnisse des Anwenders einzustellen.

Eine vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, daß das Verfahren einstufig ausgeführt wird. "Einstufig" bezieht sich in

diesem Zusammenhang auf die Druckerhöhung des Eingangsgasstroms oder die Druckabsenkung des Retentats und/oder die erfindungsgemäß vorgesehene Druckabsenkung des Permeats. Das einstufige Verfahren zeichnet sich durch seinen einfachen Aufbau aus und ermöglicht eine übersichtliche Prozeßführung. Insbesondere bei technischen Anwendungen, bei denen es ausreichend ist, einen in Bezug auf die Gaskomponente nur mäßig angereicherten Permeatstrom zur Verfügung zu stellen, bietet sich die einstufige Ausführung des Verfahrens an. Dies gilt beispielsweise für die Sauerstoffanreicherung von Luft. Die einstufige Ausführung des Verfahrens führt zu geringeren Betriebs- und Investitionskosten und ist daher besonders wirtschaftlich einzusetzen.

Um den Energieverbrauch zur Verdichtung des Gasstroms vor Eintritt in die Membrantrenneinrichtung möglichst gering zu halten, ist vorzugsweise vorgesehen, daß die Druckdifferenz zwischen dem Gasstrom und dem Retentatstrom 1 bar, vorzugsweise 0,2 bar bis 0,5 bar nicht überschreitet. Dabei ist von Bedeutung, daß die Druckdifferenz zwischen dem Gasstrom und dem Retentatstrom zumindest ausreichend groß ist, um die retentatseitig auftretenden Druckverluste zu kompensieren, die beim Durchströmen des Gasstroms durch die Membrantrenneinrichtung auftreten. Wenn die Druckdifferenz zwischen dem Gasstrom und dem Retentatstrom nicht ausreichend ist, stellt sich für die angereicherte Komponente im Permeatstrom eine geringere Konzentration ein.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß die Druckdifferenz in Abhängigkeit von der Konzentration der anzureichernden Komponente im Permeatstrom eingeregelt wird. Generell gilt, daß die Druckniveaus des Eingangsgasstroms und des Retentats bei entsprechend geforderten Konzentrationen des angereicherten Permeats möglichst gering sein sollten, um den Energieaufwand zu minimieren.

Erfindungsgemäß wurde weiter festgestellt, daß der Permeatstrom mit einem absoluten Druck zwischen 0,2 bar bis 2,0 bar, vorzugsweise zwischen 0,4 bar bis 1,4 bar, weiter vorzugsweise mit einem absoluten Druck zwischen 0,5 bar bis 1 bar und insbesondere mit einem absoluten Druck von kleiner 1 bar, also mit Unterdruck, abgeführt werden sollte, um einen Durchtritt der anzureichernden Gaskomponente durch die Membran in den Permeatstrom zu ge-

währleisten und gleichzeitig den Energieaufwand zur Anreicherung der Gas-
komponente möglichst gering zu halten. Ein weiteres bevorzugtes Druckni-
veau des Permeatstroms liegt zwischen 0,5 bar bis 0,65 bar. Der Gasstrom
sollte dazu mit einem absoluten Druck zwischen 1 bar bis 6 bar, vorzugsweise
5 bis kleiner als 3 bar und insbesondere mit 1,35 bar bis 1,5 bar zugeführt wer-
den, wobei die Druckdifferenz zwischen dem Feedstrom und dem Permeat-
strom 0,2 bar bis 0,5 bar vorzugsweise betragen sollte. Der Retentatstrom
kann mit einem absoluten Druck zwischen 1 bar bis 5,5 bar, vorzugsweise bis
2,5 bar und insbesondere mit 1 bar, also etwa mit Umgebungsdruck, abgeführt
10 werden. Dabei versteht es sich, daß alle Werte aus dem vorgenannten Werte-
bereichen erfindungsgemäß erfaßt sind, wobei bedarfsweise auch einzelnen
ausgewählten Werten aus den Wertebereichen besondere Vorteile im Rahmen
der Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zukommen können.

15 Erfindungsgemäß ist vorgesehen, daß als Membrantrenneinheiten z. B. Plat-
tenmodule, Taschenmodule oder Hohlfasermodule eingesetzt werden können.
Selbstverständlich ist es auch möglich, daß eine Mehrzahl unterschiedlicher
Trenneinheiten kombiniert werden, um optimale Trennergebnisse zu erzielen.
Die Stoffeigenschaften der eingesetzten Membranen, wie z. B. Trennschicht-
20 dicke der Membranen, Permeabilität, Selektivität und Temperaturbeständig-
keit, beeinflussen die Leistung der Membrantrenneinrichtung. Grundsätzlich
können jedoch alle Membrantypen für das erfindungsgemäße Verfahren in
Abhängigkeit von dem jeweiligen Anwendungsfall konfektioniert und einge-
setzt werden.

25 Die Haltbarkeit der Membrantrenneinrichtung ist nicht beschränkt, da keine
mechanische Belastung durch bewegliche Teile verursacht wird. Das Verfah-
ren ist daher sehr wartungsarm. Alterungseinflüsse der Membrantypen sind
bei geeigneter Auswahl der Membrantypen in Abhängigkeit von dem Anwen-
30 dungsverfahren nur von untergeordneter Bedeutung.

Um unterschiedliche Volumenströme zu erhalten, ist es erfindungsgemäß vor-
gesehen, daß der Gasstrom in wenigstens zwei Teilströme aufgeteilt und
durch eine Mehrzahl von parallel angeordneten Membrantrenneinheiten und/-
35 oder Membrantrenneinrichtungen aufgetrennt wird. Selbstverständlich ist es
auch möglich, daß mehrere, in eine Membrantrenneinrichtung eingesetzte

Module, parallel betrieben werden. Grundsätzlich ist jedoch auch eine Reihenschaltung mehrerer Membrantrenneinheiten möglich.

5 Um eine Schädigung der Membrantrenneinrichtung bzw. der Membran und/oder der vor- oder nachgeschalteten Verdichtung bzw. Absaugung der gasförmigen Medien zu verhindern, ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß aus dem Gasstrom vor dem Eintritt in die Membrantrenneinrichtung, vorzugsweise vor der Verdichtung, eine Abscheidung von Störkomponenten, insbesondere von Partikeln und/oder Ölen und/oder Fetten, vorgesehen wird. Das Eindringen solcher Störkomponenten in die Anlagenkomponenten ist möglichst zu vermeiden, da die Störkomponenten die Trennung bzw. Anreicherung der Gaskomponente negativ beeinflussen können. Insbesondere ist hier eine Schädigung der in der Membrantrenneinrichtung eingesetzten Membran zu befürchten. Grundsätzlich sollte der Aufwand zur Gasreinigung jedoch weitgehend minimiert werden, um die Kosten gering zu halten.

Der Gasstrom kann vor dem Eintritt in die Membrantrenneinrichtung, vorzugsweise nach der Verdichtung, gekühlt oder erwärmt werden. Dadurch wird sichergestellt, daß die maximal zulässigen Grenztemperaturen des jeweiligen Membrantyps nicht überschritten werden. Bei Erwärmung des Gasstroms kann das Auskondensieren von mit dem Gasstrom mitgeführten kondensierbaren Gasbestandteilen, beispielsweise Wasserdampf, verhindert werden. Hierbei wird der Gasstrom vorzugsweise von 35°C bis 50°C, vorzugsweise 45°C, auf 50°C bis 75°C, vorzugsweise 60°C bis 65°C, erwärmt. Eine Abkühlung des Gasstroms ist auf ein Temperaturniveau von 0°C bis 30°C, insbesondere von 0°C bis 20°C, vorzugsweise vorgesehen. Die Erwärmung bzw. Abkühlung des Gasstroms kann in Abhängigkeit von der eingesetzten Membran und der Temperaturabhängigkeit der spezifischen Parameter erfolgen, die den Trennprozeß durch die Membran bestimmen. Wird das erfindungsgemäße Verfahren zur Sauerstoffanreicherung von Luft eingesetzt, kann die Luft somit unmittelbar aus der Umgebung der Membrantrenneinrichtung zugeführt werden und das Verfahren bei Umgebungstemperatur stattfinden.

35 Eine besonders bevorzugte Verwendung des eingangs genannten Verfahrens zur Sauerstoffanreicherung von Luft sieht vor, den sauerstoffangereicherten Permeatstoff zur gasmotorischen Verbrennung von Deponiegasen einzusetzen.

zen. Im Zuge der TA Siedlungsabfall haben sich auf Deponien die Gasqualitäten und -raten deutlich verändert. Die diffuse Entgasung von Methan im Deponiebereich wird durch gezielte Vorkehrungen der Deponietechnik, Gasdrai-
nagen und Sammelleitungen, reduziert. Die Gasqualität ist Schwankungen
5 unterworfen und kann in Gasmotoren derzeit nur bei mindestens 40 % Methananteil im Deponiegas technisch in Blockheizkraftwerken genutzt werden. Alternativ wird das Methan abgefackelt oder diffuse Entgasungen treten verstärkt auf und belasten die Umwelt. Das Methan trägt 23 mal stärker zum Treibhauseffekt bei als Kohlendioxid und geht ungenutzt als Energieträger
10 verloren.

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) garantiert feste Vergütungssätze für Strom aus Deponiegasen. Die Anlagentechnik ist zwar auf den Deponien vorhanden, kann aufgrund der Gasqualitäten jedoch oft nicht mehr genutzt werden.
15

Mit Hilfe des einstufigen Verfahrens zur Sauerstoffanreicherung von Luft ist es möglich, Anlagemodule zu erstellen, mit denen man Verbrennungsluft mit einem erhöhten Sauerstoffanteil erzeugen kann. Aufgrund der wirtschaftlichen
20 günstigen Rahmenbedingungen des Verfahrens kann diese Verbrennungsluft mit einem erhöhten Sauerstoffanteil dann auch mit niedrigeren Gasqualitäten (< 40 % Methan) zusammen in den Blockheizkraftwerken technisch genutzt werden. Es verschieben sich die Massenanteile der Inertgasmengen und man erhält zündfähige Brennstoff-Luft-Gemische, die einen sicheren Motorenbe-
25 trieb gewährleisten. Weitere Vorteile bestehen in der Emissionsverminderung, der Wirkungsgradverbesserung und der Brennstoffeffizienz. Neben dem wirtschaftlichen Aspekt wird somit ein entscheidender Beitrag zur Umweltentlastung ermöglicht.

30 Die vorgenannten Vorteile ergeben sich auch bei Verwendung des erfindungsgemäß beschriebenen Verfahrens zur gasmotorischen Verbrennung von Holzgasen oder Sondergasen wie Klär- oder Biogasen, ohne daß im einzelnen auf diese spezielle Verwendung eingegangen wird. Weitere Einsatzgebiete bestehen in der Mikroturbinentechnik und Brennstoffzellentechnik. So können
35 bei Verwendung des erfindungsgemäß beschriebenen Verfahrens mit der angereicherten Luft Wirkungsgradverbesserungen erzielt werden.

Darüber hinaus ist es bei einer anderen bevorzugten Ausgestaltung möglich, das erfindungsgemäße Verfahren zur Bereitstellung sauerstoffangereicherter Luft in einer Sporteinrichtung, insbesondere in einem Wellnesscenter o. dgl., einzusetzen. Um der erhöhten Sauerstoffaufnahme während einer sportlichen Betätigung Rechnung zu tragen oder um das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Sportlers zu steigern (Höhentraining), ist es bekannt, in Sporteinrichtungen oder Wellnesscentern die Umgebungsluft mit Sauerstoff anzureichern oder die Luft mit Sauerstoff abzureichern. Der Sauerstoff zur Sauerstoffanreicherung stammt dabei üblicherweise aus Druckgasflaschen und ist dementsprechend kostenintensiv. Das erfindungsgemäße Verfahren bietet für diesen speziellen Verwendungsfall Vorteile aufgrund des geringen Energieverbrauchs und der deutlich geringeren Kosten, die durch die Sauerstoffanreicherung bzw. -abreicherung der in der Sporteinrichtung befindlichen Luft verursacht werden. Darüber hinaus ist auch die Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens in Verbindung mit der Raumklimatisierung möglich. Weitere bevorzugte Anwendungsbereiche des erfindungsgemäßen Verfahrens sind die Sauerstoffanreicherung von Abwässern in Belebungsbecken einer Kläranlage oder dergleichen, wobei vor allem schwankende oder zu geringe Sauerstoffkonzentrationen ausgeglichen werden können. Schließlich ist auch die Verwendung von sauerstoffangereichertem Gas in chemischen Prozessen durch Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens bei deutlich geringeren Kosten möglich, beispielsweise im Hochofenbereich.

Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand eines Ausführungsbeispiels und unter Bezugnahme auf die Zeichnung exemplarisch beschrieben. Es zeigen

Fig. 1 ein Verfahrensfließbild zur Sauerstoffanreicherung von Luft unter Verwendung einer Membrantrenneinheit und

Fig. 2 den Verlauf der Sauerstoffkonzentration im Permeatstrom in Abhängigkeit von dem zur Anreicherung des Permeatstroms benötigten Energiebedarfs und des Volumenstroms des Permeats.

In der Fig. 1 ist ein einstufiges Verfahrens zur Sauerstoffanreicherung von Luft unter Verwendung einer Membrantrennvorrichtung 1 dargestellt. Die Membrantrennvorrichtung 1 weist gemäß der Fig. 1 eine Membrantrenneinrichtung 2, eine der Membrantrenneinrichtung 2 nachgeschaltete Absaugeinrichtung 3, bei der es sich beispielsweise um einen Verdichter handelt, einen
5 weiteren Verdichter 4 sowie optional einen Wärmetauscher 5 und einen Filter 6, die jeweils der Membrantrenneinrichtung 2 vorgeschaltet sind, auf.

Die anzureichernde Umgebungsluft 7 wird aus der Umgebung angesaugt und zur Abscheidung von Staubpartikeln oder groben Verschmutzungen dem Filter 6 zugeführt. Anschließend erfolgt im Verdichter 4 die Verdichtung der Luft 7 auf ein Druckniveau von 1 bis 3 bar absolut, insbesondere auf ein Druckniveau von etwa 1,5 bar absolut.
10

Erfindungsgemäß besteht die Option, die Luft 7 nach der Verdichtung durch den Wärmetauscher 5 zu erwärmen bzw. zu kühlen. Dadurch wird zum einen sichergestellt, daß die zulässigen Betriebstemperaturen der Membrantrenneinrichtung 2, speziell die Grenztemperatur einer nicht im einzelnen dargestellten Membran einer Membrantrenneinheit 10 eingehalten werden können. Auf der
15 anderen Seite ist es möglich, durch Erwärmen der Luft 7 ein Auskondensieren des mit der Luft 7 zugeführten Wasserdampfes zu vermeiden.
20

Der Luftstrom 7 wird nach dem Passieren des Wärmetauschers 5 der Membrantrenneinrichtung 2 zugeführt und teilt sich in ein sauerstoffabgereichertes Retentat 8 und ein sauerstoffangereichertes Permeat 9 auf.
25

Erfindungsgemäß ist nun vorgesehen, daß das Druckniveau auf der Permeatseite 11 der Membrantrenneinrichtung 2 durch die Absaugeinrichtung 3 abgesenkt wird. Vorzugsweise wird das Druckniveau auf der Permeatseite 11 der Membrantrenneinrichtung 2 auf 0,4 bis 1,4 bar, insbesondere auf kleiner 1 bar gesenkt, während das Druckniveau auf der Retentatseite 12 der Membrantrenneinrichtung 1 bis 2,5 bar, insbesondere 1 bar beträgt.
30

Die Membrantrenneinrichtung 2 kann aus Membrantrenneinheiten 10 unterschiedlicher Bauart bestehen. Als Membrantrenneinheiten 10 können beispielsweise Plattenmodule, Taschenmodule und/oder auch Hohlfasermodule
35

Verwendung finden. Weitere konstruktive Ausführungen der Membrantrenneinheiten sind potentiell einsetzbar. Die Membrantrenneinheiten können parallel betrieben werden, um unterschiedliche Volumenströme zu erhalten. Wesentlich dabei ist, daß die Membrantrenneinheit 10 wenigstens eine Membran aufweist, die den selektiven Übergang ausgewählter Gaskomponenten in das Permeat 9 ermöglicht.

Ein wesentlicher Vorteil des Verfahrens liegt in der einstufigen Ausführung und damit verbundenen einfachen Prozeßführung. Der zugeführte Volumenstrom der Luft 7 wird in der Membrantrenneinrichtung 2 basierend auf dem Prinzip der Gaspermeation getrennt. Treibende Kraft dieser Trennung ist die Druckdifferenz zwischen der Luft 7 und dem Permeat 9. Die Anreicherung einer Gaskomponente in einem Gasstrom kann in Abhängigkeit von dem jeweiligen Anwendungsfall durch Variation der einzustellenden Volumenströme des Gasstroms, beispielsweise der Luft 7, des Retentats 8 und des Permeats 9 sowie der entsprechenden Druckniveaus gesteuert werden. Dabei ist es so, daß der Druck auf der Permeatseite 11 der Membrantrenneinrichtung 2, vor allem im Bereich von 0,4 bar bis 1,4 bar absolut, und insbesondere im Unterdruckbereich, eine Verbesserung des Trennprozesses bewirkt. Der Volumenstrom und der Sauerstoffgehalt des Permeats 9 können so variiert werden.

Erfindungsgemäß ist in diesem Zusammenhang vorgesehen, daß der Differenzdruck zwischen der in die Membrantrenneinrichtung 2 eintretenden Luft 7 und dem sauerstoffabgereicherten Retentat 8 0,5 bar nicht überschreitet. Die vorgenannte Druckdifferenz kann dabei im Hinblick auf einen minimalen Energieverbrauch des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. auf eine gewünschte Sauerstoffkonzentration des Permeats 9 eingeregelt werden.

Nicht dargestellt ist im übrigen, daß der Verdichter 4 selbstverständlich auch auf der Retentatseite 12 der Membran in der Art angeordnet sein kann, daß das Retentat 8 angesaugt wird. In diesem Fall ist eine Verdichtung der Luft 7 vor Eintritt in die Membrantrenneinrichtung 2 nicht notwendig. Wesentlich dabei ist, daß in diesem Fall die Triebkraft zur Trennung bzw. Anreicherung des Sauerstoffs im Permeat 9 durch die Druckdifferenz zwischen dem Retentat 8 und dem Permeat 9 bestimmt wird.

Um einen mobilen Einsatz bzw. einen Transport der Trennvorrichtung 1 in einfacher Art und Weise sicherzustellen, ist vorrichtungsgemäß weiterhin vorgesehen, daß insbesondere die Membrantrenneinrichtung 2, die Absaug-
einrichtung 3 sowie der Verdichter 4 und/oder die weiteren, zu der Membran-
trennvorrichtung 1 gehörenden Bauteile in einem transportablen Gehäuse in
5 der Art eines Containers aufgenommen sind und eine mobile Baueinheit bilden. Dies bietet sich insbesondere deshalb an, da die erfindungsgemäße Trennvorrichtung 1 einen kompakten Aufbau und daraus resultierend geringe Abmessungen und ein geringes Gewicht der Anlagenkomponenten und Re-
gelungseinheiten zuläßt.
10

Bei einem Ausführungsbeispiel zur Sauerstoffanreicherung von Luft 7 ist vorgesehen, daß der Membrantrenneinrichtung 2 Luft 7 mit einem Volumenstrom von 7,6 m³/h und einem Druck von 1,3 bar absolut zugeführt wird. In der
15 Membrantrenneinrichtung 2 findet eine Trennung der Luft 7 in einen mit Sauerstoff angereicherten Volumenstrom, das Permeat 9, und in einen mit Sauerstoff abgereicherten Volumenstrom, das Retentat 8, statt. Auf der Permeatseite 11 wird ein Unterdruck von 200 mbar durch die Absaugvorrichtung 3 aufgebracht. Es stellt sich ein Volumenstrom von 3,1 m³/h bei einem Druck von 0,8
20 bar absolut ein und es wird in diesem Betriebszustand ein Sauerstoffgehalt von 25,46 % gemessen. Auf der Retentatseite 12 ist ein Druckniveau von 1,15 bar absolut eingestellt. Der Volumenstrom des Retentats 8 mit einem Anteil Sauerstoff von 18,75 % beträgt 4,5 m³/h.

25 In der Fig. 2 ist schematisch und qualitativ der Verlauf der Sauerstoffkonzentration y_{O_2} [%] anhand der Kurve b in Abhängigkeit von der Absenkung des Druckniveaus auf der Permeatseite der Membrantrenneinrichtung dargestellt.

Erfindungsgemäß konnte zunächst festgestellt werden, daß sich in Abhängig-
30 keit der Druckniveaus des Eingangsgasstroms und des Retentats ein Optimum für den angereicherten Volumenstrom auf der Permeatseite einstellt. Es kommt zu einem Anstieg der Sauerstoffkonzentration im Permeat. Ist der Differenzdruck zwischen dem Eingangsgasstrom und dem Retentatstrom zu gering, nimmt die erreichte Sauerstoffkonzentration ab.

Erfindungsgemäß konnte des weiteren festgestellt werden, daß die Absenkung des Druckniveaus auf der Permeatseite gegenüber dem Eingangsdruck des Gasstroms in die Membrantrenneinrichtung zu einer Verbesserung und höheren Konzentration der angereicherten Komponente im Permeatstrom führt.

5

Der Volumenstrom V_p [m^3/h] des Permeats zeigt einen degressiv steigenden Verlauf mit sinkendem Druckniveau auf der Permeatseite (Kurve a). Der Energiebedarf P_{el} [kW] zur Absenkung des Druckniveaus auf der Permeatseite, der in der Fig. 2 durch die Kurve c dargestellt ist, steigt dagegen progressiv mit zunehmender Druckabsenkung des Permeatstroms an.

10

Im übrigen wird darauf hingewiesen, daß ein Recyclieren des Permeats 9 und/oder des Retentats 8 vorzugsweise nicht vorgesehen ist, grundsätzlich aber möglich ist. Auch eine Rückkopplung des Permeats 9 mit dem Retentat 8 ist vorzugsweise nicht vorgesehen, grundsätzlich aber möglich. Dies gilt vor allem bei Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Sauerstoffanreicherung.

15

Patentansprüche:

1. Membrantrennverfahren zur Anreicherung wenigstens einer Gaskomponente in einem Gasstrom, insbesondere zur Sauerstoffanreicherung von Luft (7) und/oder zur Anreicherung von Kohlendioxid in einem Gasstrom, wobei
5 der Gasstrom zur Anreicherung der Gaskomponente wenigstens einer wenigstens eine Membran aufweisenden Membrantrenneinheit (10) einer Membrantrenneinrichtung (2) zugeführt wird und wobei an der Membran die Auftrennung des Gasstroms in ein auf einer Retentatseite (12) der Membran abgeführtes Retentat (8) und in ein auf einer Permeatseite (11) der Membran abgeführtes Permeat (9) erfolgt, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Gasstrom vor Eintritt in die Membrantrenneinrichtung (2) auf einen Eingangsdruck oberhalb des Umgebungsdruckes verdichtet wird und daß das Druckniveau auf der Permeatseite (11) gegenüber dem Eingangsdruck des Gasstroms abgesenkt
10 wird.

2. Membrantrennverfahren zur Anreicherung wenigstens einer Gaskomponente in einem Gasstrom, insbesondere zur Sauerstoffanreicherung von Luft (7), wobei der Gasstrom zur Anreicherung der Gaskomponente wenigstens einer wenigstens eine Membran aufweisenden Membrantrenneinheit (10) wenigstens einer Membrantrenneinrichtung (2) zugeführt wird und wobei an der Membran die Auftrennung des Gasstroms in ein auf einer Retentatseite (12) der Membran abgeführtes Retentat (8) und in ein auf einer Permeatseite (11) der Membran abgeführtes Permeat (9) erfolgt, **dadurch gekennzeichnet**, daß
20 der Gasstrom der Membrantrenneinrichtung (2) auf Umgebungsdruck zugeführt wird, daß der Ausgangsdruck des Retentats (8) aus der Membrantrenneinrichtung (2) unterhalb des Umgebungsdruckes abgesenkt wird und daß das Druckniveau auf der Permeatseite (11) gegenüber dem Ausgangsdruck des Retentats (8) abgesenkt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Eingangsdruck des Gasstroms bzw. der Ausgangsdruck des Retentats (8) im wesentlichen in Höhe des Druckverlustes auf der Retentatseite (12) der Membrantrenneinrichtung (2) verdichtet bzw. abgesenkt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Volumenstrom des Permeats (9) und/oder die Konzentration der angereicherten Gaskomponente durch die Absenkung des Druckniveaus auf der Permeatseite (11) geregelt wird.
- 5
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren einstufig ausgeführt wird.
- 10
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Druckdifferenz zwischen dem Gasstrom und dem Retentat (8) 1 bar, vorzugsweise 0,2 bar bis 0,5 bar nicht überschreitet und/oder daß die Druckdifferenz in Abhängigkeit von der Konzentration der anzureichernden Komponente im Permeat (9) eingeregelt wird.
- 15
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Permeat (9) mit einem absoluten Druck zwischen 0,2 bar bis 2 bar, vorzugsweise zwischen 0,4 bar bis 1,4 bar, weiter vorzugsweise zwischen 0,5 bar bis 1,0 bar, insbesondere mit einem absoluten Druck von kleiner 1 bar und weiter insbesondere mit einem absoluten Druck von 0,5 bar bis 0,65
- 20
- bar aus der Membrantrenneinrichtung (2) abgeführt wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasstrom mit einem absoluten Druck zwischen 1 bar bis 6 bar, vorzugsweise kleiner als 3 bar und insbesondere mit 1,35 bar bis 1,5 bar
- 25
- der Membrantrenneinrichtung (2) zugeführt wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Retentat (8) mit einem absoluten Druck zwischen 1 bar bis 5,5 bar, vorzugsweise bis 2,5 bar und insbesondere von etwa 1 bar abgeführt
- 30
- wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die anzureichernde Gaskomponente durch die Membran in das Permeat (9) übergeht.
- 35

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Permeat (9) auf eine Sauerstoffkonzentration von 22 bis 45 Vol.-%, vorzugsweise von 30 Vol.-% angereichert wird.
- 5 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Membrantrenneinheit (10) wenigstens ein Taschenmodul und/oder Plattenmodul und/oder Hohlfasermodule eingesetzt wird.
- 10 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasstrom in wenigstens zwei Teilströme aufgeteilt und durch eine Mehrzahl von parallel angeordneten Membrantrenneinheiten (10) und/oder Membrantrenneinrichtungen (2) einer Membrantrennvorrichtung (1) aufgetrennt wird.
- 15 14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Gasstrom vor dem Eintritt in die Membrantrenneinrichtung (2), vorzugsweise vor der Verdichtung, eine Abscheidung von Störkomponenten, insbesondere von Partikeln und/oder Ölen und/oder Fetten, vorgesehen wird.
- 20 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasstrom vor dem Eintritt in die Membrantrenneinrichtung (2), vorzugsweise nach der Verdichtung, vorzugsweise um 10°C bis 25°C erwärmt wird oder gekühlt wird.
- 25 16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Gasstrom vor dem Eintritt in die Membrantrenneinrichtung (2) kondensierbare Bestandteile, insbesondere Wasser, abgeschieden werden.
- 30 17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Auftrennung des Gasstroms in der Membrantrenneinrichtung (2) bei Umgebungstemperatur erfolgt.
- 35 18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Verdichtung des Gasstroms vor Eintritt in die Membran-

trenneinrichtung (2) und/oder die Absenkung des Druckniveaus des Retentats (8) und/oder des Permeats (9) einstufig erfolgt und daß, vorzugsweise, die Verdichtung variabel auf ein vorgegebenes Druckniveau einstellbar erfolgt.

5 19. Membrantrennvorrichtung (1) zur Anreicherung wenigstens einer Gas-
komponente in einem Gasstrom, insbesondere zur Sauerstoffanreicherung von
Luft (7), vorzugsweise zur Durchführung des Verfahrens nach einem der An-
sprüche 1 bis 18, mit wenigstens einer wenigstens eine Membran aufweisen-
den Membrantrenneinheit (10) einer Membrantrenneinrichtung (2), wobei der
10 Gasstrom zur Anreicherung der Gaskomponente der Membrantrenneinrich-
tung (2) zugeführt wird und an der Membran die Auftrennung des Gasstroms
in ein auf einer Retentatseite (12) der Membran abgeführtes Retentat (8) und
in ein auf einer Permeatseite (11) der Membran abgeführtes Permeat (9) er-
folgt, **dadurch gekennzeichnet**, daß wenigstens eine Absaugeinrichtung (3)
15 zur Absenkung des Druckniveaus auf der Permeatseite (11) der Membran
vorgesehen ist, insbesondere zur Absenkung unterhalb von 1 bar.

20 20. Trennvorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß we-
nigstens ein Verdichter (4) zur Erhöhung des Eingangsdrucks des Gasstroms
der Membrantrenneinrichtung (2) vorgeschaltet ist oder daß eine weitere Ab-
saugereinrichtung zur Absenkung des Ausgangsdrucks des Retentats (8) der
Membrantrenneinrichtung (2) nachgeschaltet ist.

25 21. Trennvorrichtung nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet,
daß wenigstens ein Wärmetauscher (5) zur Kühlung oder Erwärmung des
Gasstroms der Membrantrenneinrichtung (2) vorgeschaltet ist.

30 22. Trennvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 19 bis 21,
dadurch gekennzeichnet, daß die Membrantrenneinrichtung (2) wenigstens ei-
ne Membrantrenneinheit (10) aufweist, wobei als Membrantrenneinheit (10)
wenigstens ein Plattenmodul und/oder ein Taschenmodul und/oder ein Hohl-
fasermodul vorgesehen ist.

35 23. Trennvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 19 bis 22,
dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine Einrichtung, vorzugsweise ein
Filter (6), zur Abscheidung von Störstoffen aus dem Gasstrom, insbesondere

von Partikeln und/oder von Fetten und/oder von Ölen, der Membrantrenneinrichtung (2), vorzugsweise dem Verdichter (3), vorgeschaltet ist.

5 24. Trennvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 19 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Membrantrenneinrichtung (2) und die Absaugeinrichtung (3) sowie der Verdichter (4) oder die weitere Absaugeinrichtung in einem transportablen Gehäuse aufgenommen sind und eine mobile Baueinheit bilden.

10 25. System zur Anreicherung einer Gaskomponente in einem Gasstrom, insbesondere zur Sauerstoffanreicherung von Luft, vorzugsweise zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Mehrzahl von vorzugsweise parallel angeordneten Membrantrennvorrichtungen (1) nach einem der Ansprüche 19 bis 24 vorgesehen
15 ist.

26. Verwendung eines Membrantrennverfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 18 und/oder wenigstens einer Membrantrennvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 19 bis 24 zur Bereitstellung sauerstoffangereicherter Luft zur
20 gasmotorischen Verbrennung heizwertarmer und/oder ballastreicher Brenngase, insbesondere von Deponiegasen, Vergasungsgasen, Klärgasen oder Biogasen.

27. Verwendung eines Membrantrennverfahrens nach einem der Ansprüche 1
25 bis 18 und/oder wenigstens einer Membrantrennvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 19 bis 24 zur Bereitstellung sauerstoffangereicherter und/oder sauerstoffabgereicherter Luft in einer Sporteinrichtung, insbesondere in einem Wellnesscenter oder dgl., oder einer Klimaanlage.

30 28. Verwendung eines Membrantrennverfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 18 und/oder wenigstens einer Membrantrennvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 19 bis 24 zur Bereitstellung sauerstoffangereicherter Luft zur Nutzung in Mikroturbinen und/oder in Brennstoffzellen.

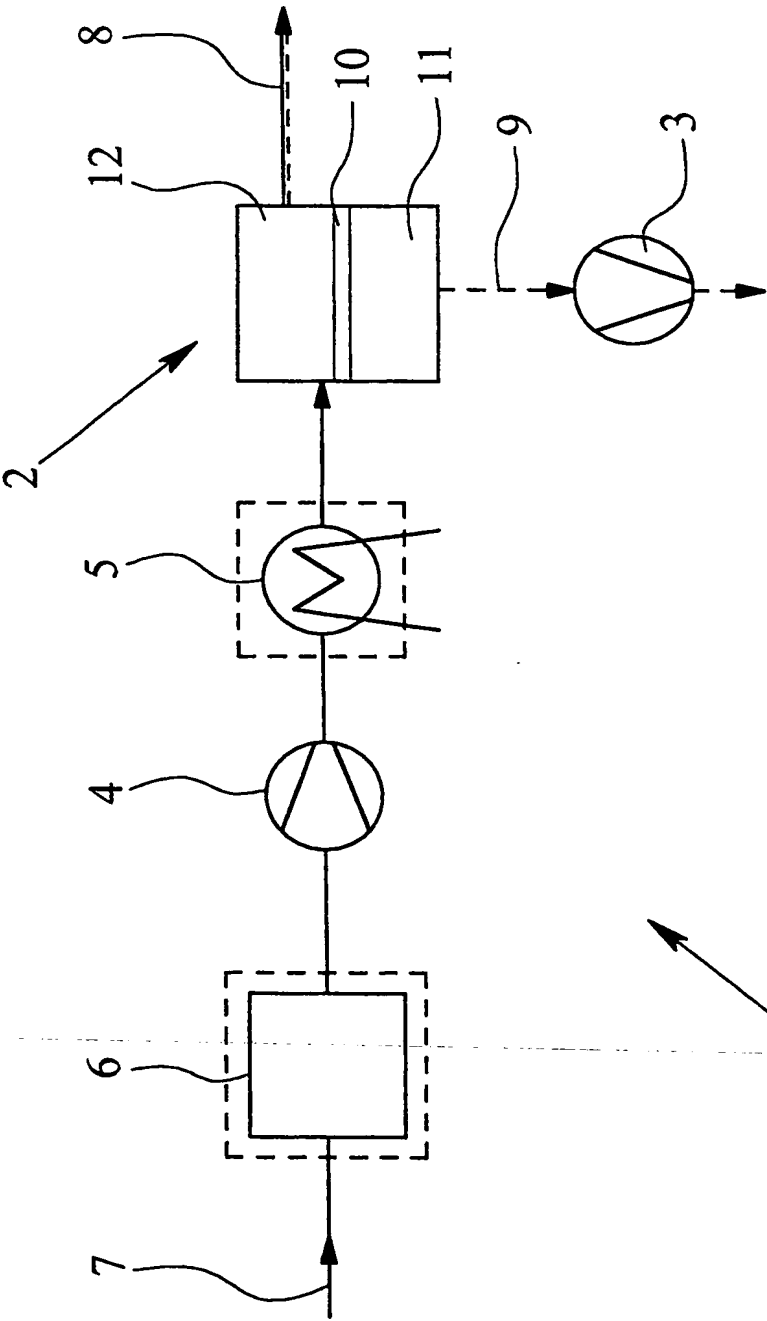


Fig. 1

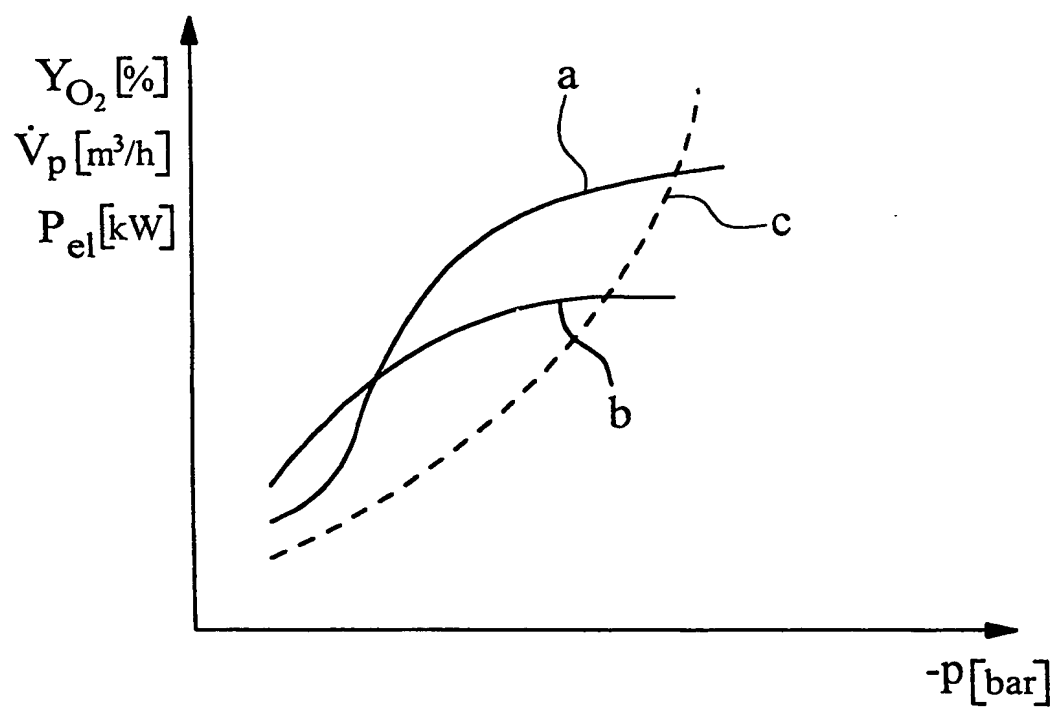
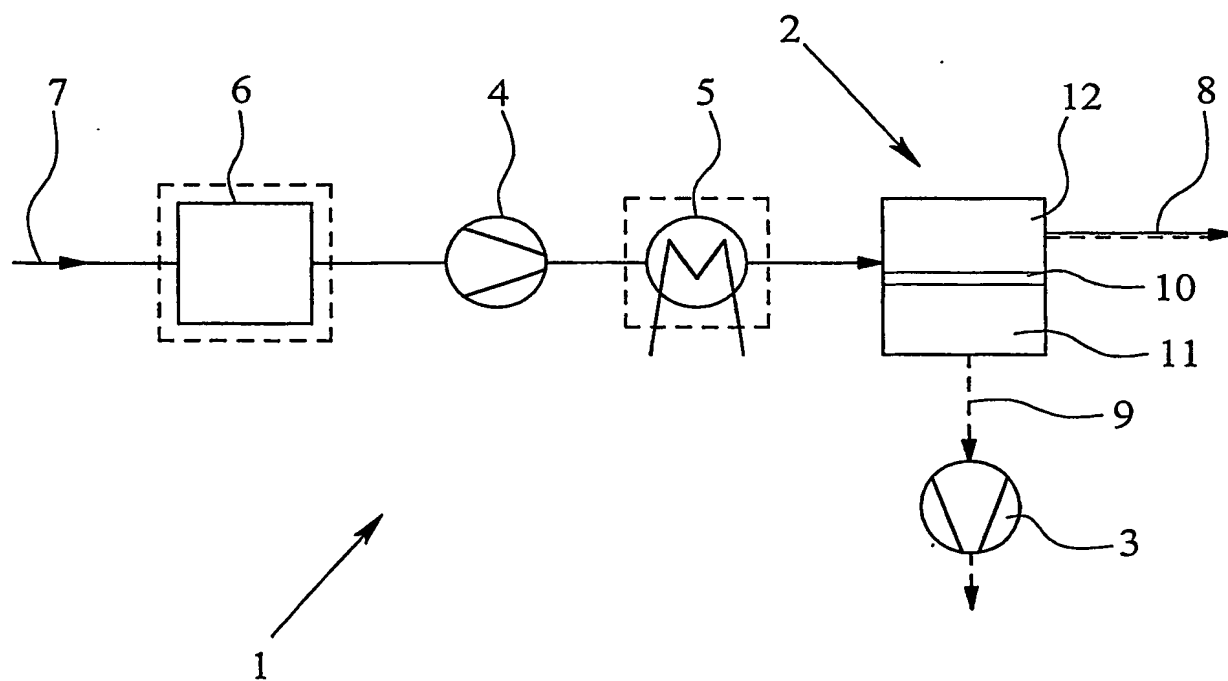


Fig. 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intel. Application No

PCT/03/05739

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 C01B13/02 C01B31/20 B01D53/22

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 C01B B01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 893 275 A (HENRY CHARLES W) 13 April 1999 (1999-04-13)	1,2,5,7, 8,10,14, 18,19, 23-25
A	column 3, line 50 -column 4, line 63; figure 7	3,4,6,9, 11-13, 15-17, 20-22, 26-28
X	EP 0 821 993 A (AIR PROD & CHEM) 4 February 1998 (1998-02-04)	1,5,8, 10,18-21
A	page 4, line 9-23; figure 1	3,4,6,7, 9,11-17, 22-28

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 September 2003

Date of mailing of the international search report

25/09/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Werner, H

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/US 03/05739

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	US 5 500 036 A (KALTHOD DILIP G) 19 March 1996 (1996-03-19) figure 1; example 5	2,5,6,8, 10-13, 19,22,25 3,4,7, 14-17, 23,24, 26-28
X A	US 5 837 032 A (MCREYNOLDS KENT B ET AL) 17 November 1998 (1998-11-17) column 3, line 57 -column 5, line 31; example 1	1,5,8, 10, 14-16, 18-21,23 3,4,6,7, 9,11-13, 17,22, 24-28
X A	EP 0 362 436 A (UNION CARBIDE CORP) 11 April 1990 (1990-04-11) column 6, line 8 -column 7, line 3; claim 1; figure 1	1,5,10, 14-16,18 3,4,6-9, 11-13, 17,25-28
X A	WO 99 38602 A (CHAHAL KAM) 5 August 1999 (1999-08-05) page 5, paragraph 3 page 6, paragraph 2 page 7, paragraph 3 page 9, paragraph 2	1,5,10, 19,20 3,4,6-9, 11,26-28
X A	US 3 976 451 A (BLACKMER RICHARD H ET AL) 24 August 1976 (1976-08-24) column 1, line 58 -column 2, line 15; figure 1 column 2, line 58 -column 4, line 39	2,5, 10-13, 19,22,25 3,4,6-9, 14-18, 20,21, 23,24, 26-28
X	"CHEMICAL ABSTRACTS + INDEXES, AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. COLUMBUS, US" CHEMICAL ABSTRACTS + INDEXES, AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. COLUMBUS, US, XP000192761 ISSN: 0009-2258 abstract	19,27

-/--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/JP92/03/05739

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	"CHEMICAL ABSTRACTS + INDEXES, AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. COLUMBUS, US" CHEMICAL ABSTRACTS + INDEXES, AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. COLUMBUS, US, XP000284706 ISSN: 0009-2258 abstract -----	19,21,23
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 016, no. 029 (C-0904), 24 January 1992 (1992-01-24) & JP 03 242304 A (DAIKIN IND LTD), 29 October 1991 (1991-10-29) abstract -----	19,21,23

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/03/05739

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5893275	A	13-04-1999	AU 9205098 A WO 9911989 A2	22-03-1999 11-03-1999
EP 0821993	A	04-02-1998	US 5447555 A EP 0821993 A2 CA 2139605 A1 DE 69520965 D1 DE 69520965 T2 EP 0663230 A2	05-09-1995 04-02-1998 13-07-1995 28-06-2001 13-09-2001 19-07-1995
US 5500036	A	19-03-1996	NONE	
US 5837032	A	17-11-1998	US 5352272 A AU 682829 B2 AU 5014993 A AU 719591 B2 AU 5268198 A CA 2141603 A1 DE 69328869 D1 DE 69328869 T2 EP 0655013 A1 JP 8500054 T JP 3274467 B2 NO 950521 A WO 9404250 A1 US 5679133 A AU 1536792 A CA 2078448 A1 DE 69219033 D1 DE 69219033 T2 EP 0529052 A1 WO 9213628 A2	04-10-1994 23-10-1997 15-03-1994 11-05-2000 23-04-1998 03-03-1994 20-07-2000 01-02-2001 31-05-1995 09-01-1996 15-04-2002 12-04-1995 03-03-1994 21-10-1997 07-09-1992 31-07-1992 22-05-1997 20-11-1997 03-03-1993 20-08-1992
EP 0362436	A	11-04-1990	CA 1322967 C US 4787919 A EP 0362436 A1 GR 3008223 T3 US RE33678 E BR 8805417 A CN 1041885 A , B	12-10-1993 29-11-1988 11-04-1990 30-09-1993 03-09-1991 20-06-1989 09-05-1990
WO 9938602	A	05-08-1999	AU 2867099 A WO 9938602 A1	16-08-1999 05-08-1999
US 3976451	A	24-08-1976	DE 2524242 A1 FR 2273577 A1 GB 1513144 A IT 1038381 B JP 1292774 C JP 51006876 A JP 58041891 B	02-01-1976 02-01-1976 07-06-1978 20-11-1979 16-12-1985 20-01-1976 16-09-1983
JP 03242304	A	29-10-1991	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern. Aktenzeichen

PCT/03/05739

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 C01B13/02 C01B31/20 B01D53/22

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 C01B B01D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 893 275 A (HENRY CHARLES W) 13. April 1999 (1999-04-13)	1,2,5,7, 8,10,14, 18,19, 23-25
A	Spalte 3, Zeile 50 -Spalte 4, Zeile 63; Abbildung 7	3,4,6,9, 11-13, 15-17, 20-22, 26-28
X	EP 0 821 993 A (AIR PROD & CHEM) 4. Februar 1998 (1998-02-04)	1,5,8, 10,18-21
A	Seite 4, Zeile 9-23; Abbildung 1	3,4,6,7, 9,11-17, 22-28
	--- -/--	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

15. September 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

25/09/2003

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Werner, H

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 500 036 A (KALTHOD DILIP G) 19. März 1996 (1996-03-19)	2,5,6,8, 10-13, 19,22,25
A	Abbildung 1; Beispiel 5	3,4,7, 14-17, 23,24, 26-28
X	US 5 837 032 A (MCREYNOLDS KENT B ET AL) 17. November 1998 (1998-11-17)	1,5,8, 10, 14-16, 18-21,23
A	Spalte 3, Zeile 57 -Spalte 5, Zeile 31; Beispiel 1	3,4,6,7, 9,11-13, 17,22, 24-28
X	EP 0 362 436 A (UNION CARBIDE CORP) 11. April 1990 (1990-04-11)	1,5,10, 14-16,18
A	Spalte 6, Zeile 8 -Spalte 7, Zeile 3; Anspruch 1; Abbildung 1	3,4,6-9, 11-13, 17,25-28
X	WO 99 38602 A (CHAHAL KAM) 5. August 1999 (1999-08-05)	1,5,10, 19,20
A	Seite 5, Absatz 3 Seite 6, Absatz 2 Seite 7, Absatz 3 Seite 9, Absatz 2	3,4,6-9, 11,26-28
X	US 3 976 451 A (BLACKMER RICHARD H ET AL) 24. August 1976 (1976-08-24)	2,5, 10-13, 19,22,25
A	Spalte 1, Zeile 58 -Spalte 2, Zeile 15; Abbildung 1 Spalte 2, Zeile 58 -Spalte 4, Zeile 39	3,4,6-9, 14-18, 20,21, 23,24, 26-28
X	"CHEMICAL ABSTRACTS + INDEXES, AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. COLUMBUS, US" CHEMICAL ABSTRACTS + INDEXES, AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. COLUMBUS, US, XP000192761 ISSN: 0009-2258 Zusammenfassung	19,27

-/--

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>"CHEMICAL ABSTRACTS + INDEXES, AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. COLUMBUS, US" CHEMICAL ABSTRACTS + INDEXES, AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. COLUMBUS, US, XP000284706 ISSN: 0009-2258 Zusammenfassung</p>	19,21,23
X	<p>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 016, no. 029 (C-0904), 24. Januar 1992 (1992-01-24) & JP 03 242304 A (DAIKIN IND LTD), 29. Oktober 1991 (1991-10-29) Zusammenfassung</p>	19,21,23

INTERNATIONAL RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die derselben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/JP93/05739

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5893275	A	13-04-1999	AU	9205098 A	22-03-1999
			WO	9911989 A2	11-03-1999
EP 0821993	A	04-02-1998	US	5447555 A	05-09-1995
			EP	0821993 A2	04-02-1998
			CA	2139605 A1	13-07-1995
			DE	69520965 D1	28-06-2001
			DE	69520965 T2	13-09-2001
			EP	0663230 A2	19-07-1995
US 5500036	A	19-03-1996	KEINE		
US 5837032	A	17-11-1998	US	5352272 A	04-10-1994
			AU	682829 B2	23-10-1997
			AU	5014993 A	15-03-1994
			AU	719591 B2	11-05-2000
			AU	5268198 A	23-04-1998
			CA	2141603 A1	03-03-1994
			DE	69328869 D1	20-07-2000
			DE	69328869 T2	01-02-2001
			EP	0655013 A1	31-05-1995
			JP	8500054 T	09-01-1996
			JP	3274467 B2	15-04-2002
			NO	950521 A	12-04-1995
			WO	9404250 A1	03-03-1994
			US	5679133 A	21-10-1997
			AU	1536792 A	07-09-1992
			CA	2078448 A1	31-07-1992
			DE	69219033 D1	22-05-1997
			DE	69219033 T2	20-11-1997
			EP	0529052 A1	03-03-1993
			WO	9213628 A2	20-08-1992
EP 0362436	A	11-04-1990	CA	1322967 C	12-10-1993
			US	4787919 A	29-11-1988
			EP	0362436 A1	11-04-1990
			GR	3008223 T3	30-09-1993
			US	RE33678 E	03-09-1991
			BR	8805417 A	20-06-1989
			CN	1041885 A , B	09-05-1990
WO 9938602	A	05-08-1999	AU	2867099 A	16-08-1999
			WO	9938602 A1	05-08-1999
US 3976451	A	24-08-1976	DE	2524242 A1	02-01-1976
			FR	2273577 A1	02-01-1976
			GB	1513144 A	07-06-1978
			IT	1038381 B	20-11-1979
			JP	1292774 C	16-12-1985
			JP	51006876 A	20-01-1976
			JP	58041891 B	16-09-1983
JP 03242304	A	29-10-1991	KEINE		